

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 196 32 269 A 1

②① Aktenzeichen: 196 32 269.3
②② Anmeldetag: 9. 8. 96
②③ Offenlegungstag: 13. 2. 97

⑤① Int. Cl. 8:
G 01 N 33/34
G 01 B 21/30
G 06 K 9/62
// (D21G 9/00, G01B
121:04)

10

DE 196 32 269 A 1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①
11.08.95 US 514622

⑦① Anmelder:
Westvaco Corp., New York, N.Y., US

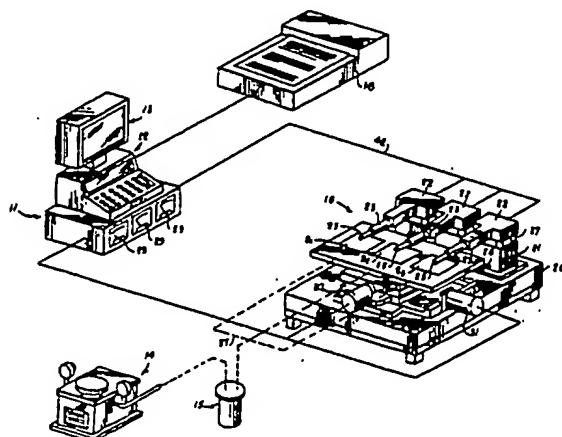
⑦④ Vertreter:
Patentanwälte Eder & Schieschke, 80796 München

⑦② Erfinder:
Rogowski, Donald Frank, Covington, Va., US

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zur Analyse der Topographie einer Papieroberfläche

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erkennen periodisch auftretender Veränderungen in der Rauheit einer Papieroberfläche. Vorrichtungen dieser Art sammeln im allgemeinen topographische Daten der Papieroberfläche, analysieren diese Daten und vergleichen sie mit bekannten kennzeichnenden Topographien der Beläge und Ausrüstung der Papiermaschine, um die Stelle im Papierherstellungsverfahren zu bestimmen, an der die periodisch auftretenden Veränderungen in der Rauheit der Papieroberfläche erzeugt werden.



DE 196 32 269 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 12. 96 802 067/607

18/26

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Erkennen periodisch auftretender Veränderungen in der Rauheit einer Papieroberfläche. Vorrichtungen dieser Art sammeln im allgemeinen topographische Daten der Papieroberfläche, analysieren diese Daten und vergleichen sie mit bekannten kennzeichnenden Topographien der Beläge und Ausrüstung der Papiermaschine, um die Stelle im Papierherstellungsverfahren zu bestimmen, an der die periodisch auftretenden Veränderungen in der Rauheit der Papieroberfläche erzeugt werden.

Bezogen auf Papier, ist die "Druckqualität" eine subjektive Beurteilung durch das menschliche Auge einer bestimmten Papieroberfläche im Hinblick auf das Druckprodukt auf dieser Oberfläche. Einer der maßgeblicheren, objektiven Faktoren, die sich auf die Druckqualität einer Papieroberfläche auswirken, ist die "Rauheit" dieser Oberfläche. Darüber hinaus wird Papier auch noch subjektiv nach der einfachen, unbedruckten, sichtbaren Oberflächenglätte beurteilt. Demzufolge wurden zahlreiche Verfahren zur Messung der Rauheit einer unbedruckten Papieroberfläche entwickelt, um die Beschaffenheit des Druckprodukts im voraus besser beurteilen zu können.

Einige weit verbreitete, indirekte Meßverfahren für die Rauheit einer Papieroberfläche, die als Glätte nach Sheffield, Glätte nach Bekk und Parker Print Surf bezeichnet werden, umfassen Techniken, die mit dem Auslaufen von Luft arbeiten, wobei die Menge der zwischen der Papieroberfläche und einer Dichtung der Testeinrichtung auslaufenden Luft über einen festgelegten zeitlichen Abstand gemessen wird, oder, umgekehrt, die Zeit, die zum Auslaufen einer festgelegten Luftmenge benötigt wird. Diese indirekten Meßverfahren für die Oberflächenrauheit liefern zwar einen zahlenmäßig quantifizierbaren, relativen Wert der Oberflächenrauheit, sie haben sich aber nicht als konstante, zuverlässige Indikatoren für die Druckqualität erwiesen.

Die herkömmliche Messung der Oberflächenrauheit basiert auf dem Ziehen einer Linie durch eine Abtastvorrichtung über die Oberfläche, wie sie in der US-PS 4 888 983 (L.G. Dunfield et al.) dargestellt ist. Die Werte der Oberflächenrauhtiefe werden in gleich beabstandeten Inkrementen in einer einzigen, senkrechten Bewertungsebene gemessen. Die hierdurch erhaltenen Werte der Oberflächenrauhtiefe werden digitalisiert und gemäß Dunfield et al. zur Bestimmung eines entsprechenden Druckqualitätsindex algorithmisch verarbeitet.

Der Faserverlauf von maschinell gefertigtem Papier ist jedoch zur Maschinenfertigungslinie ausgerichtet. Der Großteil der zur Papierherstellung verwendeten Faser ist zur Laufrichtung der Maschine und nicht quer hierzu ausgerichtet. Übertrieben könnte man diesen Zustand der Faserausrichtung in Maschinenlaufrichtung als Wellentopographie sehen. Bei Messung durch eine einzige Abtastvorrichtung mit vertikaler Bewegung quer zu den Wellenrippen würde die Prüfung eine "rauhe" Oberfläche mit großen, aber äußerst regelmäßigen Veränderungen des vertikalen Abstands zwischen den höchsten und niedrigsten Punkten ergeben. Bei Messung in einer zu den Wellenrippen parallelen Richtung würde die Prüfung eine "glatte" Oberfläche ergeben, mit geringen Veränderungen des vertikalen Abstands. Nur durch eine dreidimensionale Messung läßt sich die Beschaffenheit der Oberfläche mit ihren parallel verlaufen-

den Rippen erkennen.

Hieraus geht hervor, daß eine dreidimensionale Topographie durch Längen-, Breiten- und Höhenkoordinaten definiert ist, wobei die Koordinaten für die Länge und Breite in der gleichen Ebene liegen und die Koordinaten für die Höhe senkrecht zur Ebene der Länge und Breite gemessen werden.

Die "sichtbare Glätte" von bedrucktem und unbedrucktem Papier wird oft durch Muster in der Rauheit beeinflusst. Papiermuster sind auf dem Papier normalerweise leicht zu erkennen, und in Situationen, in denen ein "glattes" Papier erforderlich ist, wird dies als unerwünscht empfunden. Die einfachste Methode, dies zu beheben, liegt darin, das Herstellungsverfahren des Papiers zu verändern und somit zu verhindern, daß das Muster weiterhin im Papier auftritt. Ein Problem, das bei dieser Methode auftritt, besteht darin, daß es schwierig ist, zu erkennen, welche Teile des Herstellungsverfahrens geändert werden müssen, um das Muster aus dem Papier zu entfernen, solange das Muster nicht eindeutig identifiziert werden kann.

Obwohl das Auge das Muster erkennen kann, ist es im allgemeinen kein gutes Hilfsmittel, um zu versuchen, den Ursprung des Musters eindeutig zu identifizieren. Einige der Gründe hierfür liegen darin, daß die wahrgenommenen Muster im Papier oft fein sind, daß mehr als ein Muster im Papier vorhanden sein kann, und daß die verschiedenen Herstellungsvorgänge, durch die Muster in einem Papier erzeugt werden können, sehr ähnliche, aber doch unterschiedliche Muster erzeugen können, die das Auge nicht zu unterscheiden vermag. Als Folge der genannten Situationen ist ein wiederholbares, nicht-subjektives Verfahren zum Erkennen von in Papier vorhandenen Mustern wünschenswert.

Beispielsweise befaßt sich der Artikel "Measuring Fabric Mark in Board Using Image Analysis" von A. A. Koukoulas, N. Nguyen und B. D. Jordan, Journal of Pulp and Paper Science, Bd. 20, Nr. 8, Seiten J220—J225, mit dem Vorhandensein eines Musters in Papier. Koukoulas et al. beschreiben ein Verfahren zur Auswertung der relativen Stärke eines Musters, dessen Ursache im Papierherstellungsverfahren bekannt ist.

Die relative Stärke des Musters in Papierproben wird bestimmt, indem die zweidimensionale Fourier-Transformation auf optische Daten angewendet wird, die von den Papierproben gesammelt wurden. Eine Beschränkung der von Koukoulas et al. vorgestellten Arbeit liegt darin, daß sie zwar ein Verfahren zum Messen der relativen Stärke eines Musters präsentieren, dessen Ursprung in dem Papierherstellungsverfahren bekannt ist, daß aber kein Mittel zum Erkennen der Ursache von Mustern, deren Ursprung im Papierherstellungsverfahren unbekannt ist, angegeben wird. Das von Koukoulas et al. vorgestellte Verfahren ist auch dadurch extrem eingeschränkt, daß es nicht auf die Identifizierung der Herkunft von Mustern in der Rauheit der Oberfläche angewendet werden kann, da es bei dem Verfahren nach Koukoulas et al. erforderlich ist, daß die Papierprobe in engem Kontakt mit einem Prisma ist, was nur möglich ist, wenn die Oberfläche des Papiers deformiert wird, indem die Papierprobe unter Druck mit Hilfe einer hydraulischen Presse gegen ein Prisma gedrückt wird.

Aus den obigen Angaben wird ersichtlich, daß in diesem technischen Gebiet ein Bedarf an einem System zur Analyse einer Papieroberfläche besteht, das in der Lage ist, das Rauheitsprofil der Papieroberfläche genau zu messen, das aber gleichzeitig auch bestimmen kann, an welchem Punkt in dem Papierherstellungsverfahren der

Papieroberfläche periodisch auftretende Veränderungen der Rauheit zugefügt werden. Die Erfindung hat den Zweck, diesem Bedarf und anderen Erfordernissen auf diesem technischen Gebiet auf eine Weise Rechnung zu tragen, die für den Fachmann durch die folgende Offenbarung besser ersichtlich wird.

Allgemein ausgedrückt trägt die Erfindung diesen Erfordernissen Rechnung, indem sie ein Verfahren zur Analyse eines Oberflächenprofils von Papier schafft, das mit einer Papiermaschine mit Papierherstellungskomponenten erzeugt wird, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist: Herstellung eines Papier-Probefogens durch die Papiermaschine; Sammeln topographischer Daten des Papier-Probefogens; Sammeln topographischer Daten der Papierherstellungskomponenten; Analyse der topographischen Daten des Papier-Probefogens und der Papiermaschinen-Komponenten; Vergleichen der topographischen Daten des Papier-Probefogens und der Papiermaschinen-Komponenten; Identifizieren von möglicherweise vorhandenen Signaturen der Verarbeitungskomponenten in den topographischen Daten des Papier-Probefogens, die mit den topographischen Daten der Papiermaschinen-Komponenten in Wechselbeziehung stehen. Durch Anwendung dieses Verfahrens bei einer Papiermaschine kann daher — falls nötig — eine Einstellung der Papierherstellungskomponenten im Sinne einer Verringerung oder Beseitigung der Signature der Verarbeitungskomponenten in den topographischen Daten des Papier-Probefogens erfolgen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden die topographischen Daten des Bogens gesammelt, und eine Bestimmung eines zweidimensionalen Frequenzspektrums wird durchgeführt. Darüberhinaus werden die topographischen Daten der Papiermaschinen-Komponenten direkt von den Papiermaschinen-Komponenten abgenommen, oder durch die Verwendung von Folienabdrücken der Komponenten, und die Bestimmung eines zweidimensionalen Frequenzspektrums wird durchgeführt.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform können periodisch auftretende Muster in der Oberflächenrauheit der Papierprobe erkannt werden, so daß korrigierend eingegriffen werden kann, um die Muster zu beseitigen.

Das bevorzugte System zur Analyse von Papieroberflächen nach der vorliegenden Erfindung hat folgende Vorteile: Hervorragende Eigenschaften, was die Messung der Oberfläche der Papiermaschinenkomponenten betrifft; hervorragende Eigenschaften, was die Messung der Papieroberfläche betrifft; hervorragende Eigenschaften, was die Identifizierung von Signaturen von Verarbeitungskomponenten einer Maschine für die Papierherstellung betrifft; hohe Stabilität; lange Haltbarkeit; leichte Anwendung; und vorteilhafte Wirtschaftlichkeit. Tatsächlich werden bei vielen der bevorzugten Ausführungsformen diese Faktoren der Eigenschaften bezüglich des Messen der Komponenten- und Papieroberflächen und der Identifizierung von Signaturen von Verarbeitungskomponenten bis zu einem Grad optimiert, der wesentlich höher liegt als das, was bei früheren, bekannten Systemen zur Analyse von Papieroberflächen erreicht wurde.

Die obigen Merkmale und andere Merkmale der vorliegenden Erfindung, die im Laufe der Beschreibung noch näher erläutert werden, sind am besten unter Berücksichtigung der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit der Zeichnung verständlich, wobei in

allen verschiedenen Darstellungen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile bezeichnen. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung der physikalischen Komponenten der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 ein Blockschaltbild der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 ein Abtastschema für die Bewegung des Probentisches gemäß vorliegender Erfindung;

Fig. 4 ein Detail im Schnitt der erfindungsgemäßen Befestigungsvorrichtung für die Probe;

Fig. 5 ein Ablaufdiagramm des für die Erfindung anwendbaren Rechnersoftware-Steuerprogramms;

Fig. 6 ein Ablaufdiagramm des Datenanalyseunterprogramms zur Bestimmung der Rauheit, auf das im Ablaufdiagramm in Fig. 5 Bezug genommen wird;

Fig. 7 ein Ablaufdiagramm des Datenanalyseunterprogramms zur Bestimmung des Frequenzspektrums, auf das im Ablaufdiagramm in Fig. 5 Bezug genommen wird;

Fig. 8 eine Darstellung eines Frequenzspektrums nach der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 9 eine Darstellung des Frequenzspektrums aus Fig. 8 nach der vorliegenden Erfindung mit zusätzlichen Markierungen bzw. Beschriftungen.

Der konstruktive Grundaufbau der vorliegenden Erfindung ist in Fig. 1 dargestellt und umfaßt eine zusammenwirkende Anordnung bestehend aus einer Vermessungseinheit 10 für die Probe, einem Rechner 11 zur digitalen Datenverarbeitung, einem mit einer Tastatur versehenen Steuerpult 12, einem Bildschirm 13, einer Vakuumpumpe 14, einem geregelten Vakuumbehälter 15 und einem Drucker 16.

Die Vermessungseinheit 10 für die Probe umfaßt einen massiven Auflagetisch 20, der eine oder mehrere Haltevorrichtungen 21 für eine Abtastvorrichtung aufweist. Jede Haltevorrichtung 21 trägt einen vertikal verstellbaren Kopf 22 zur Halterung der Abtastvorrichtung, der einen starren Arm 23 für die Abtastvorrichtung aufweist. Die Abtastvorrichtung 25 als solches kann ein Gegenstand sein, wie er im einzelnen in der US-PS 4 669 300 (P.H. Hall et al.), erteilt am 02.06.87, beschrieben ist. Typische Spezifikationen für diese Abtastvorrichtung beinhalten eine Diamantspitze mit einem Spitzenradius von 2,53 µm (0,0001 Zoll) zur Verwendung auf "feinem" Papier oder Schreibpapier und eine kugelige Hartmetall-Spitze mit einem Spitzenradius von 0,25 mm (0,010 Zoll) für gebleichte Pappe.

Durch manuelles Drehen eines Stellrads 26 wird der Kopf 22 der Abtastvorrichtung in Führungshülsen 27 vertikal verschoben, um die Abtastvorrichtung 25 mitig relativ zur Ebene eines Probefogens S₁, S₂ oder S₃ zu kalibrieren.

Jeder Probefogen S ist auf der Fläche eines in einem kartesischen Koordinatensystem bewegbaren Tisches 30 (Fig. 4) mittels einer Vakuumeinrichtung fixiert. Die translatorische Bewegung des Tisches 30 wird vom Rechner 11 über die Schrittmotoren 31 und 32 gesteuert. Nach einem Signal des Rechners sprechen einer oder beide Motoren 31 bzw. 32 auf den Schrittmotortreiber 33 (Fig. 2) mit einem vorbestimmten Drehwinkel zur translatorischen Verschiebung der Position des Tisches 30 in zueinander senkrechten Richtungen unter den Armen 23 für die Abtastvorrichtung an, um eine quer verlaufende Reihe von parallelen Linien abzutasten, wobei jede Linie eine vorbestimmte Anzahl von in regelmäßigen Abständen angeordneten Haltepositionen aufweist, um ein Raster aus äquidistanten Meßpunkten zu definieren, wie in dem Abtastschema in

Fig. 3 dargestellt. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung umfaßt ein Raster aus 128 parallelen Linien, die jeweils eine Länge von 8,13 cm (3,2 Zoll) aufweisen und über eine Breite von 8,13 cm (3,2 Zoll) angeordnet sind, jeweils 128 Meßpunkte auf einer Länge von jeweils 8,13 cm (3,2 Zoll), d. h. insgesamt $(128)^2$ gleichmäßig beabstandete Meßpunkte, oder ein Raster aus 256 parallelen Linien, die jeweils eine Länge von 4,06 cm (1,6 Zoll) aufweisen und über eine Breite von 4,06 cm (1,6 Zoll) angeordnet sind, umfaßt jeweils 256 Meßpunkte auf einer Länge von jeweils 4,06 cm (1,6 Zoll), d. h. insgesamt $(256)^2$ gleichmäßig beabstandete Meßpunkte.

Der Abstand zwischen diesen Meßpunkten kann verändert werden, um Frequenzbereiche, die kennzeichnend für den zu prüfenden Rauheitsgrad sind, aufzulösen. Die maximale Frequenz, die aufgelöst werden kann, ist gleich der Hälfte der Frequenz des Meßpunktabstandes.

Um dünne Proben von geringem Gewicht, wie beispielsweise Papier, in ihrer Position zu fixieren, ist der in einem kartesischen Koordinatensystem bewegbare Tisch 30 mit einem oder mehreren Vakuumschächten 35 (Fig. 4) versehen, die durch eine poröse Metallplatte 36 abgedeckt sind, die eine spezifizierte Planität aufweist. Die Größe der Poren der Platte 36 ist so gewählt, daß Luft durch die Platte strömen kann, ohne daß die Probe in die Porenschächte hinein verformt wird. Als Beispiel wird eine Metallgas-Filterplatte mit einer Porengröße von 10 Mikrometer und einer Planität von $\pm 0,025$ mm ($\pm 0,001$ Zoll) der Mott Metallurgical Corp., Farmington, CT angegeben. Im Schacht 35 unter der Platte 36 wird durch ein mit einer Vakuumquelle, wie z. B. einer Pumpe 14, verbundenes Leitungssystem 37 ein Vakuum erzeugt. Zwischen dem Schacht 35 und der Pumpe 14 ist im Leitungssystem 37 ein geregelter Vakuumbehälter 15 vorgesehen, der zur Dämpfung von jeglichen von der Vakuumquelle erzeugten Pulsationen ausgelegt ist.

Bezugnehmend auf Fig. 2, wird jedes analoge Signal 40 der Abtastvorrichtung 25 durch einen Leistungs-Vorverstärker 41 verstärkt. Das verstärkte Analogsignal 42 für die Abtastvorrichtung wird anschließend einem Analog-Digital-Wandler 43 zur Erzeugung von entsprechenden digitalen Datensignalen 44 in einer für den Rechner 11 geeigneten Form zugeführt.

Ein Vorgang zur Bestimmung der Rauheit eines Bogens beginnt mit dem Anordnen von einem oder mehreren Probebögen S_1 , S_2 oder S_3 auf entsprechenden Probenhaltevorrichtungen 36 des Tisches 30 (Fig. 4). Die Abtastvorrichtungen 25 werden durch manuelle Betätigung von Stellrädern 26 auf den Probenoberflächen platziert und auf die Mitte des Wegstreckenbereichs der Abtastvorrichtung eingestellt.

Bezugnehmend auf das Ablaufdiagramm für die Software in den Fig. 5 und 6 beginnt die Erfassung der Meßdaten mit der Bewegung des in kartesischen Koordinaten bewegbaren Tisches 30 auf dem in Fig. 3 vorbestimmten Weg, wobei an jedem Meßpunkt angehalten wird, um durch mechanische Bewegung verursachtes Rauschen im Signalsystem auf ein Minimum zu reduzieren. Die von den A/D-Wandlern 43 (Fig. 2) erzeugten digitalen Werte werden entsprechend ihrer zugehörigen Matrixadresse gespeichert. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt bis der vorgeschriebene Datenerfassungsweg beendet ist.

Selbstverständlich kann die hier beschriebene Meßvorrichtung in Form einer mechanischen Abtastvorrichtung auch durch eine Laserstrahl-Meßvorrichtung er-

setzt werden.

Nach Fertigstellung der Matrix mit den Ursprungsdaten werden die entsprechend gespeicherten Daten mit einem zweidimensionalen Finite-extent Impulse Response Filter (FIR-Filter) oder einem digitalen nichtrekursiven Zero-phase Bandpaß-Filter, das mit einer Fensterfunktion, wie z. B. ein kreisförmiges Kaiser-Fenster, multipliziert wurde, gefaltet. Die Ursprungsdaten können aber auch so gefaltet werden, wie sie aufgenommen wurden, und dann zur späteren Verarbeitung bzw. Weiterverarbeitung gespeichert werden. Das mit dem Fenster multiplizierte FIR-Filter wurde im Speicher des Rechners vor dem Datenerfassungsvorgang aufgebaut und gespeichert. Die Filter/Fenster-Kombination wird daher zur Faltung aus dem Speicher abgerufen. Das FIR-Filter und das Fenster werden unter Verwendung von mathematischen Standardverfahren entworfen, die in "Multidimensional Digital Signal Processing" von D.E. Dudgeon und R.M. Mersereau, Prentice-Hall, 1984, Seiten 29—31, und Seiten 118—124, beschrieben sind. Die Wahl der cut-off-Parameter des Filters beruht auf dem Grad der zu quantifizierenden Rauheit. Der quantifizierte Grad der Rauheit hängt von der subjektiven Beschaffenheit der Eigenschaft ab, deren Quantifikation angestrebt wird. Die Ausführung des Prozesses der Faltung wird von Dudgeon und Mersereau auf den Seiten 113—118 beschrieben.

Die aus jeder Faltung der Ursprungsdaten resultierende Matrix enthält sowohl "gute" als auch "schlechte" Daten. Die "guten" Daten werden aus der aus jeder Faltung resultierenden Matrix extrahiert, und anschließend wird der Effektivwert der Rauheit dieser "guten" Daten bestimmt und der Bedienperson per Anzeige auf dem Bildschirm 13 oder einem Drucker 16 (Fig. 1) präsentiert.

Selbstverständlich kann der hier beschriebene Parameter für den Effektivwert (Root-mean-square) der Rauheit zur Berechnung eines Rauheitswertes alternativ auch durch einen anderen Rauheitsparameter, wie z. B. den Mittelwert der Rauheit ersetzt werden.

Für eine graphischere Darstellung dieses mathematischen Vorgangs können die Ursprungsdaten, die durch die relativen Höhenwerte an den Matrixmeßpunkten dargestellt sind, auf einen einzigen Effektivwert reduziert werden. Dieser Wert stimmt jedoch für gewöhnlich nicht mit den subjektiven Beurteilungen durch Anwender und Fachleute überein. Zur Ableitung eines Effektivwertes für eine spezifische Papiersorte, der mit den subjektiven Beurteilungen durch Fachleute tatsächlich übereinstimmt, werden eine statistisch ausreichende Anzahl bedruckter und unbedruckter Beispiexemplare auf Proben einer spezifischen Papiersorte durch Fachleute vergleichsweise bewertet. Solch ein Vorgehen ist zwangsläufig eine subjektive, visuelle und manuelle Bewertung. Mit der vorliegenden Erfindung werden bedruckte und unbedruckte Exemplare der gleichen spezifischen Papiersorte bewertet, um eine Teilfläche mit einer Teiloberflächenfrequenz oder einem Teilfrequenzspektrum für eine spezifische Papiersorte zu identifizieren, welche bzw. welches bei Reduzierung auf einen Effektivwert mit der subjektiven Beurteilung durch Fachleute übereinstimmt. Ist erst einmal die relevante Frequenz bzw. das relevante Spektrum für eine spezifische Papiersorte identifiziert, lassen sich sämtliche später produzierten Quantitäten dieser spezifischen Papiersorte durch den Effektivwert der Teilflächen mit diesem Frequenzbereich bewerten.

Umgekehrt wird die Datenmatrix, die die Ursprungs-

daten einer Probenoberfläche innerhalb des Prüfungsbereichs darstellt, mathematisch in mehrere Nachbildungen zu Teiloberflächen umstrukturiert, die jeweils einer Oberflächenprofilfrequenz innerhalb eines Spektrums solch besonderer Frequenzen entsprechen. Das vollständige Frequenzspektrum solcher Oberflächen-Nachbildungen ergibt zusammen die Ursprungsdaten-Oberfläche.

Mit diesem spektralen Bereich von Oberflächen-Nachbildungen wird ein mathematisches Filter gefaltet, das aus den vorstehend angegebenen Referenzen abgeleitet ist. Durch dieses Modell werden ausgewählte Oberflächenfrequenzen oder ein Subspektrum des gesamten Oberflächenspektrums als Vergleichrelevanz mit subjektiven manuellen Beurteilungen isoliert. Hierdurch wird eine kennzeichnende Frequenz oder ein kennzeichnendes Subspektrum identifiziert, welches sich anschließend auf jedes Exemplar der geprüften Papiersorte anwenden läßt.

Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung werden die Ursprungsdaten für jeden Probebogen zwei- oder dreimal jeweils mittels eines anderen Filters gefaltet. Bei anderen Ausführungsbeispielen können die Ursprungsdaten mit weniger oder mehr Filtern gefaltet werden, wodurch weniger oder mehrere Rauheitswerte erhalten werden, wobei ein Rauheitswert für jedes in einer Faltung verwendete Filter bestimmt wird.

Die vorliegende Erfindung kann dazu verwendet werden, ein Frequenzspektrum von Oberflächenveränderungen in den gesammelten topographischen Daten zu erzeugen. Ein Frequenzspektrum einer Oberfläche enthält Informationen über die Amplitude oder Größe von Sinuswellenoberflächen, die dazu verwendet werden, eine Oberfläche mathematisch zu charakterisieren, was die Identifizierung oder Erkennung von periodischen Veränderungen oder Mustern in der Topographie ermöglicht.

Wie in Fig. 7 dargestellt, können nach Vervollständigung der Ursprungsdatenmatrix mit der vorstehend beschriebenen, bevorzugten Ausführungsform die entsprechend gespeicherten Daten mathematisch so umgewandelt werden, daß sich das zweidimensionale Frequenzspektrum der entsprechenden Daten ergibt, oder sie können mit einem zweidimensionalen Finite-extent Impulse Response Filter (FIR-Filter) oder einem digitalen nichtrekursiven Zero-phase Bandpaß-Filter, das mit einer Fensterfunktion multipliziert wurde, gefaltet werden, bevor sie umgewandelt werden, um das zweidimensionale Frequenzspektrum zu erhalten, wenn bestimmte Frequenzen von dem Spektrum ausgeschlossen werden sollen. Die mathematische Umwandlung wird durchgeführt unter Verwendung der zweidimensionalen Fast-Fouriertransformierten, worauf die Bestimmung der Größe der aus der zweidimensionalen schnellen Fouriertransformierten resultierenden Werte folgt.

Als Einführung in die Verwendung und Interpretation von Frequenzspektren wird ein einfaches Frequenzspektrum untersucht. Fig. 8 zeigt ein Beispiel eines einfachen Frequenzspektrums. Die Frequenzkomponenten, die in jeder Oberfläche vorhanden sind, treten innerhalb und an den Grenzen des Halbkreises gemäß Fig. 8 auf. Eine Untersuchung des Frequenzspektrums gemäß Fig. 8 ergibt, daß es eine einzige signifikante Frequenzkomponente enthält.

Um die Erörterung der Interpretation von Frequenzspektren zu vereinfachen, ist das Frequenzspektrum aus Fig. 8 noch einmal in Fig. 9 dargestellt, mit einer Be-

schriftung, die nicht zur normalen Darstellung eines Frequenzspektrums gehört.

Ein Schlüsselmerkmal von Frequenzspektren ist, daß sie polar sind. Das heißt, die Frequenzkomponenten in einem Spektrum werden durch ihren Abstand von einem Ursprung auf dem Halbkreis und den Winkel, den sie mit einer Bezugsrichtung bilden, beschrieben. Die Frequenz einer Komponente wird bestimmt, indem der Abstand vom Ursprung zu dem Ort der Komponente gemessen und mit der Skala an der rechten Seite des Frequenzspektrums verglichen wird. Der Winkel einer Komponente wird bestimmt, indem der Winkel zwischen dem vertikalen Strahl auf dem Halbkreis, der die Maschinenrichtung anzeigt, und der Frequenzkomponente gemessen wird. Winkel rechts von der Maschinenrichtung werden als positive Winkel beschrieben, und Winkel links von der Maschinenrichtung werden als negative Winkel beschrieben. Die Plus- und Minuszeichen außerhalb des Halbkreises sollen an das Vorzeichen des Winkels erinnern. Zur leichteren Handhabung sind Markierungen im Abstand von 10 Grad von der Maschinenrichtung weg entlang der Grenze des Halbkreises angebracht.

Die einzige in Fig. 9 dargestellte Frequenzkomponente hat eine Frequenz von 10 Zyklen pro 2,54 cm (Zoll) und einen Winkel von $+30^\circ$, was das Vorhandensein einer periodischen Oberflächenveränderung mit einer Frequenz von 10 Zyklen pro 2,54 cm (Zoll) und einer Verlauffrichtung von 30° nach rechts bezüglich der Maschinenrichtung anzeigt.

Der absolute Winkel einer Frequenzkomponente bezüglich der Maschinenrichtung hängt von der Ausrichtung der Proben auf dem Tisch 30 (Fig. 4) mit den kartesischen Koordinaten ab. Der relative Winkel zwischen Frequenzkomponenten hängt nicht von der Ausrichtung der Proben ab.

Es ist für jeden Durchschnittsfachmann selbstverständlich, daß das Frequenzspektrum, wie es in Fig. 8 und Fig. 9 dargestellt ist, alternativ auch als Vollkreis oder als "vollständige" Darstellung eines Frequenzspektrums gezeigt werden kann, in der die Größe der Daten des Frequenzspektrums zweimal dargestellt sind.

Zusätzlich zu den Informationen über Frequenz und Richtung enthalten Frequenzspektren auch Informationen über die Amplitude von Sinuswellenoberflächen, die dazu verwendet werden, eine Oberfläche mathematisch zu charakterisieren. Informationen über die Amplituden oder Größen als Funktion von Frequenz und Richtung sind als topographische Karten in den Frequenzspektren dargestellt. Diese Darstellung führt dazu, daß Frequenzkomponenten mit großer Amplitude (starke Frequenzkomponenten) als relativ große "Punkte" erscheinen, was auf viele dicht gedrängte Niveaulinien zurückzuführen ist, die an der Stelle der Frequenzkomponenten in dem Frequenzspektrum gezogen werden. Also wird die Stärke einer Komponente durch den relativen Durchmesser der Komponente in den topographischen Darstellungen der Frequenzspektren angezeigt.

Die Information über die Stärke bzw. Größe einer Komponente kann verwendet werden, um die relative Stärke oder Erhöhung eines Musters in einer Papieroberfläche zu bestimmen. Durch das Überwachen der Größe der Frequenzkomponenten von Verarbeitungssignaturen in einer Papieroberfläche ist es möglich, die Effektivität von Veränderungen des Papierherstellungsvorgangs zu bestimmen, die darauf ausgerichtet sind, ein Muster in einer Papieroberfläche zu reduzieren oder zu

beseitigen. Liegt mehr als ein Muster in einer Papieroberfläche vor, so können die relativen Größen der Komponenten dazu verwendet werden, die relative Erhöhung der Muster in einer Papieroberfläche zu bestimmen. Die relativen Größen von Komponenten aufgrund eines einzigen Musters können auch einen Einblick in den Mechanismus gewähren, wie das Muster von der Verarbeitungskomponente auf die Papieroberfläche übertragen wird.

Der Durchschnittsfachmann sollte erkennen, daß die Information, die in zweidimensionalen Frequenzspektren enthalten ist, in vielen verschiedenen Darstellungsformen gezeigt werden kann und daß diese Information viel über den Papierherstellungsvorgang aussagt.

Was die Identifizierung des Papierherstellungsvorgangs betrifft, bei dem die periodische Veränderung der Muster in der Papieroberfläche auftritt, so liegt der vorrangige Nutzen eines Frequenzspektrums nicht in der Untersuchung des Spektrums einer Probe an sich, sondern eher im Vergleich des Spektrums einer Probe mit den Spektren oder Signaturen von Maschinen-Verarbeitungskomponenten, wie z. B. Walzen mit Bohrlöchern oder Nuten und die Beläge der Maschine. Die sichere Identifizierung der Quelle eines Musters in einer Papieroberfläche ermöglicht es, den Herstellungsvorgang zu verändern, um das Muster zu beseitigen und bis zu einem gewissen Grad die Rauheit der Bögen zu verringern.

Die Identifizierung der Quelle von Mustern in Papierproben schließt die Erzeugung der Frequenzspektren oder Signaturen der Verarbeitungskomponenten zur Papierherstellung sowie die Erzeugung der Frequenzspektren der Papierproben ein. Die Erzeugung von Frequenzsignaturen, die Maschinenkomponenten zuzuordnen sind, beginnt damit, daß von den Oberflächen der Maschinenkomponenten Aluminiumfolienabdrücke gemacht werden.

Aluminium- oder andere geeignete Folienabdrücke von Maschinenkomponenten werden vorzugsweise unter simulierten Betriebsbedingungen gemacht, um Muster der Papierherstellungskomponenten zu erhalten, wie sie dem Papier auf der Papierherstellungsmaschine gegeben würden. Aluminiumfolienabdrücke werden unter Verwendung des Oberflächenanalysators (10, 11, 12, 13, 14, 15 und 16 in Fig. 1) verarbeitet bzw. untersucht. Darüberhinaus werden Papierproben, die durch die gleichen Maschinenkomponenten hergestellt wurden, unter Verwendung des gleichen Oberflächenanalysators (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 in Fig. 1) gemessen. Die Frequenzspektren der Aluminiumfolienabdrücke sind die Frequenzsignaturen der entsprechenden Maschinenkomponenten. Durch den Vergleich der Frequenzspektren von Papierproben mit den Frequenzsignaturen von Maschinenkomponenten kann der Ursprung von Mustern in einer Papierprobe unter Verwendung von (Teil-)Prozessen der Papierherstellung erkannt werden. Wenn der Ursprung des Musters erst einmal bestimmt wurde, können Alternativen zur Reduzierung oder Beseitigung des unerwünschten Musters erforscht werden.

Der Durchschnittsfachmann sollte erkennen, daß man die Frequenzsignaturen einiger Verarbeitungskomponenten zur Papierherstellung von Verarbeitungskomponenten erhalten kann, indem man direkt die Topographie einer repräsentativen Probe der Komponente mißt, wie dies beispielsweise bei der Trockenfilzbespannung von Trocknern durchgeführt werden kann.

Obwohl eine einfache Idee hinter der Mustererkennung steckt, sind zur Mustererkennung durch Vergleichen

von Spektren Vorsicht, Verständnis und Kenntnisse des Papierherstellungsvorgangs notwendig. Die Dynamik der Papiermaschine hat einen Einfluß darauf, wie die Signaturen der Komponenten auf die Proben übertragen werden. Die Signaturen der Papiermaschinenkomponenten können zum Teil durch Hintergrundfrequenzen undeutlich gemacht oder durch Ausdehnen und Schrumpfen der Papierbögen verzerrt werden. Es ist möglich, daß unter bestimmten Betriebsbedingungen der Maschine nur ein Teil einer Signatur einer Komponente auf einen Bogen übertragen wird. Verschiedene Komponenten der Papiermaschine können identische Signaturen haben; in diesem Fall ist es unter Umständen nicht möglich, einen einzigen Ursprung zu bestimmen. Darüberhinaus kann eine Papierprobe mehr als ein Muster aufweisen. Ein Muster, dessen Ursprung auf einer Seite der Papierbahn ist, kann auf die gegenüberliegende Seite übertragen werden. All diese Situationen führen dazu, daß der Vorgang der Mustererkennung als den Vorgang der Rauheitsmessung.

Eine Methode, Oberflächendaten darzustellen, die mit der Oberflächenanalysetechnik nach der vorliegenden Erfindung gesammelt wurden, ist die Graustufenabbildung. Bei einer Graustufenabbildung werden die Oberflächenerhöhungen der mit der vorliegenden Erfindung gesammelten Daten in eine Schwarz-Weiß-Abbildungsintensität oder Graustufe umgewandelt. Bei der vorliegenden Ausführungsform entsprechen größere Erhöhungen helleren Grauschattierungen, und kleinere Erhöhungen entsprechen dunkleren Grauschattierungen, obwohl ein Durchschnittsfachmann ohne weiteres erkennen wird, daß auch andere Entsprechungen zwischen Erhöhung und Abbildungsintensität existieren könnten. Bei Graustufenabbildungen von Ursprungsdaten oder gefilterten Daten von Papierproben ist es jedoch oft schwierig, die Muster zu erkennen, die durch die Komponenten der Frequenzspektren angezeigt werden. Die Fähigkeit, die durch die Komponenten der Frequenzspektren angezeigten Muster optisch zu erkennen, ist wünschenswert, da eine Papierprobe mehr als eine Signatur des Herstellungsverfahrens aufweisen kann. Darüberhinaus ist es wünschenswert, in der Lage zu sein, sichtbar darzustellen — wie bei einer Graustufenabbildung —, wie das identifizierte Verarbeitungskennzeichen in einer Probe auftritt, um eine Bestätigung dafür zu erhalten, welches der identifizierten Verarbeitungskennzeichen der Grund für das unerwünschte Muster war, das mit dem Auge in der Papierprobe entdeckt wurde. Aus diesen Gründen ist die Fähigkeit zur Abbildungsverstärkung der Oberflächenanalysetechnik nach der vorliegenden Erfindung entwickelt worden.

Ein Grund dafür, daß es schwierig ist, Muster in Graustufenabbildungen von Ursprungsdaten oder gefilterten Daten von Papier zu identifizieren, liegt darin, daß die Muster, falls sie nicht dominieren, durch "zufällige" Veränderungen in den topographischen Daten undeutlich gemacht werden können. Wenn also Graustufenabbildungen topographischer Daten zur Untersuchung von Mustern verwendet werden sollen, müssen die Muster in den topographischen Daten des Papiers bezüglich der "zufälligen" Veränderungen der Daten dominant gemacht werden. Dieses Verfahren wird als Muster- oder Abbildungsverstärkung bezeichnet.

Der mathematische Ansatz für die Musterverstärkung beinhaltet zwei Schritte: Filtern der Daten, um nur die interessanten Frequenzkomponenten zu behalten, vorzugsweise die einer einzigen Papierherstellungskomponente, und deutliches Verstärken der zurückbe-

haltenen interessanten Frequenzkomponenten bezüglich der zurückbehaltenen uninteressanten Frequenzkomponenten. Die mathematischen Vorgänge für dieses Abbildungsverstärkungsverfahren werden durch die oben diskutierte Veröffentlichung von Dudgeon und Mersereau auf den Seiten 124—126 dargestellt. Nach der Musterverstärkung wird eine Graustufenabbildung der verstärkten Daten erzeugt.

Der erste Schritt der Abbildungsverstärkung beginnt mit einer Untersuchung des Frequenzspektrums der Probe. Der Frequenzbereich der Komponenten, die zurückzubehalten und zu verstärken sind, wird festgelegt. Die Wahl des Frequenzbereiches ist sehr wichtig und erfordert entsprechendes Wissen. Fast alle Frequenzsignaturen der Maschinenkomponenten enthalten mindestens zwei Frequenzkomponenten, und häufig sogar mehr als zwei. Soll eine verstärkte Abbildung erzeugt werden, die mit einiger Sicherheit dem Muster der Maschinenkomponente ähneln soll, so müssen möglichst viele der Frequenzkomponenten, die Teil der Signatur sind, in den zu erhaltenden und zu verstärkenden Frequenzbereich mit eingeschlossen werden. Wird jedoch zu viel in den Bereich mit eingeschlossen, so wird neben den gewünschten Frequenzkomponenten auch ein Rauschen zurückbehalten und verstärkt, was wiederum zu schlechter Abbildungsverstärkung führt. Ein weiterer Faktor, der die Qualität der verstärkten Graustufenabbildungen beeinflusst, ist die Beibehaltung von Hochfrequenzkomponenten. Hochfrequenzkomponenten sind notwendig, um eine verbesserte Abbildungsschärfe zu erhalten. Die Schärfe der Abbildung muß jedoch im Gleichgewicht stehen mit dem Erfordernis, zu verhindern, daß die Qualität der verstärkten Abbildung durch Fremdkomponenten, die bei hohen Frequenzen auftreten, vermindert wird. Häufig wird der optimale zu erhaltende und zu verstärkende Frequenzbereich durch eine Untersuchung der erzeugten verstärkten Abbildungen nach dem Prinzip "Trial and Error" gefunden.

Nachdem ein Frequenzbereich ausgewählt wurde, wird ein Bandpaß-Filter entworfen, das die gewünschten Frequenzen zurückbehält und die unerwünschten Frequenzen beseitigt. Dann werden die Ursprungsdaten gefiltert. Nach dem Filtern wird das Muster in den gefilterten Daten verstärkt, indem jede Frequenzkomponente der gefilterten Daten mit ihrer potenzierten Größe multipliziert wird. Die Wahl der Potenz bestimmt den Grad der Verstärkung. Im allgemeinen ergibt bei der vorliegenden Ausführungsform eine Zweierpotenz eine gute Verstärkung. Dieser Verstärkungsvorgang führt dazu, daß die dominanten Frequenzkomponenten noch mehr dominieren, und er ermöglicht eine verstärkte Abbildung der dominanten Frequenzkomponenten ohne signifikante Verzerrung. Dieses Verstärkungsverfahren basiert auf der relativen Stärke einer Frequenzkomponente. Die Frage der relativen Stärke wird durch die Wahl des Frequenzbereiches des Bandpaß-Filters bestimmt.

Der Durchschnittsfachmann wird erkennen, daß mit einem gewissen Maß an Genauigkeit ein Vergleich der verstärkten Graustufenabbildung der Frequenzkomponenten von einer unbekannten Verarbeitungskomponente für die Papierherstellung mit den tatsächlichen Verarbeitungskomponenten für die Papierherstellung zu einer Identifizierung der Verarbeitungskomponente, die für die periodische Oberflächenveränderung auf der Papieroberfläche verantwortlich ist, führen kann.

Durch die obige Beschreibung werden dem Fachmann viele andere Merkmale, Abänderungen oder Ver-

besserungen nähergebracht. Derartige Merkmale, Abänderungen oder Verbesserungen werden daher als Teil dieser Erfindung angesehen, deren Schutzzumfang durch die nachfolgenden Ansprüche bestimmt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Analyse eines Oberflächenprofils von Papier, das mit einer Papiermaschine mit Papierherstellungskomponenten erzeugt wird, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Herstellung eines Papier-Probefogens durch die Papiermaschine;
- Sammeln topographischer Daten des Papier-Probefogens;
- Sammeln topographischer Daten der Papierherstellungskomponenten;
- Analyse der topographischen Daten des Papier-Probefogens und der Papiermaschinenkomponenten;
- Vergleichen der analysierten topographischen Daten des Papier-Probefogens und der Papiermaschinenkomponenten;
- Identifizieren von möglicherweise vorhandenen Signaturen der Verarbeitungskomponenten in den topographischen Daten des Papier-Probefogens, die mit den topographischen Daten der Papiermaschinenkomponenten korrelieren, anhand des Vergleichs der analysierten Daten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem für das Sammeln topographischer Daten der Papierherstellungskomponenten Folienabdrücke eines oder mehrerer Papierherstellungskomponenten gemacht werden, so daß die Abdrücke im wesentlichen eine Topographie der Papierherstellungskomponenten darstellen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Analysieren der topographischen Daten des Papier-Probefogens das Identifizieren periodischer Signaturen der Verarbeitungskomponente umfaßt, die sich in dem Papier-Probefogen befinden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Analysieren der topographischen Daten des Papier-Probefogens und der Papiermaschinenkomponenten eine Verstärkung der Signaturen der Verarbeitungskomponenten in den topographischen Daten des Bogens und der Komponenten umfaßt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem das Verstärken die Erstellung einer Graustufenabbildung der topographischen Daten des Bogens und der Komponenten umfaßt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Analysieren der topographischen Daten des Papier-Probefogens und der Papiermaschinenkomponenten die Bestimmung eines oder mehrerer Frequenzspektren der topographischen Daten des Bogens und der Komponenten umfaßt.

7. Verfahren zur Optimierung des Betriebs einer Papiermaschine mit mehreren Papierherstellungskomponenten, bei dem das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Analyse eines Oberflächenprofils von Papier durchgeführt wird und bei dem bei Detektieren von nicht tolerablen Signaturen in den topographischen Daten des Papier-Probefogens eine oder mehrere Papierher-

stellungskomponenten im Sinne einer Verringerung der Signaturen beeinflußt werden.

8. Vorrichtung zur Analyse der Topographie einer Papieroberfläche mit einer Vermessungseinheit zur Erfassung der Oberflächendaten eines Probebo- 5
gens, der mittels einer Halteeinrichtung in der Vermessungseinrichtung fixierbar ist, und mit einer Steuer- und Auswerteeinheit zur Aussteuerung der Vermessungseinheit und zur Analyse der erfaßten Oberflächendaten, wobei die Steuer- und Aus- 10
werteeinheit die Vermessungseinheit zur Datenerfassung in geeigneter Weise ansteuert und die Auswertung der Daten entsprechend dem Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche durchführt. 15

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

20

25

30

35

40

45

50

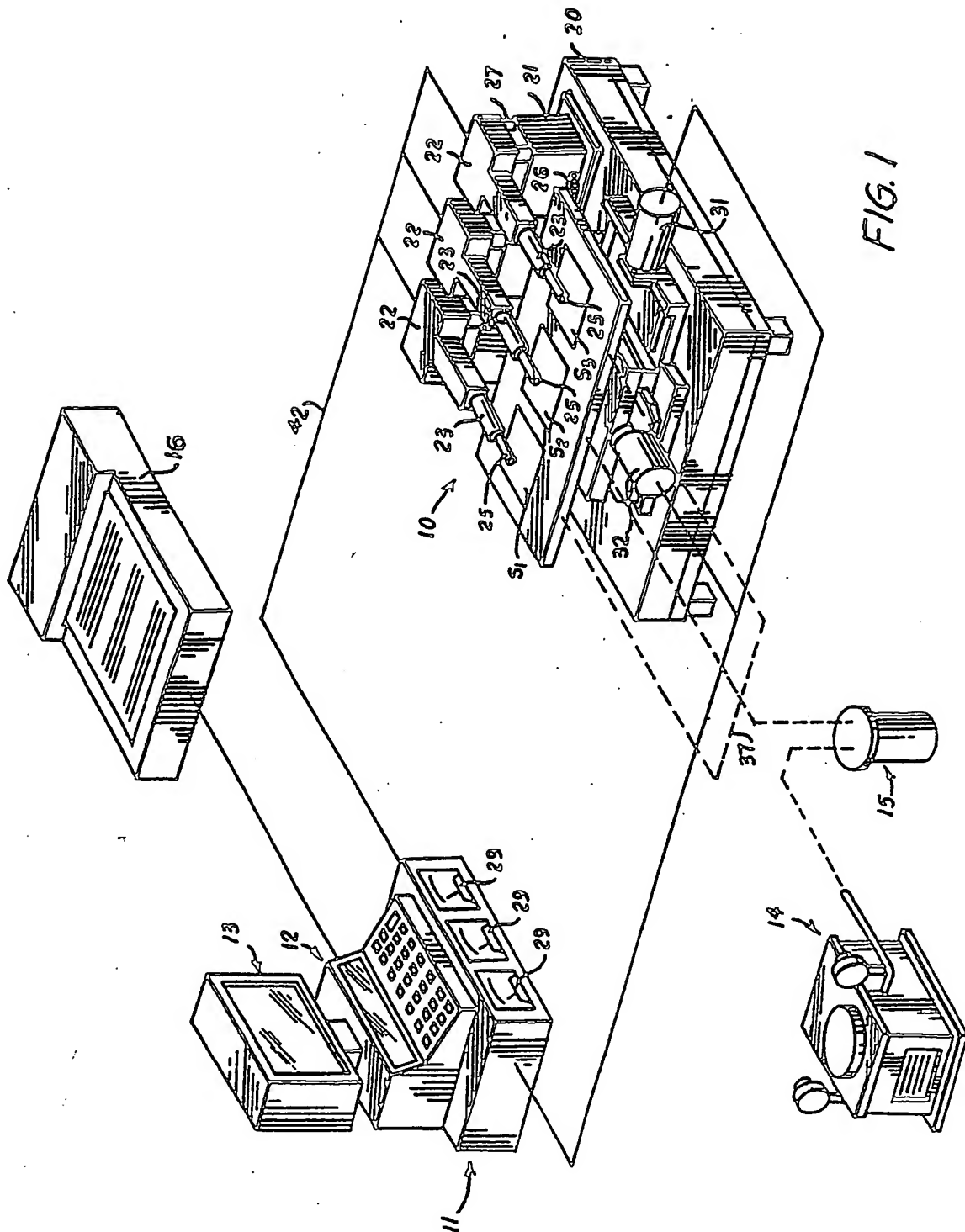
55

60

65

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)



602 067/607

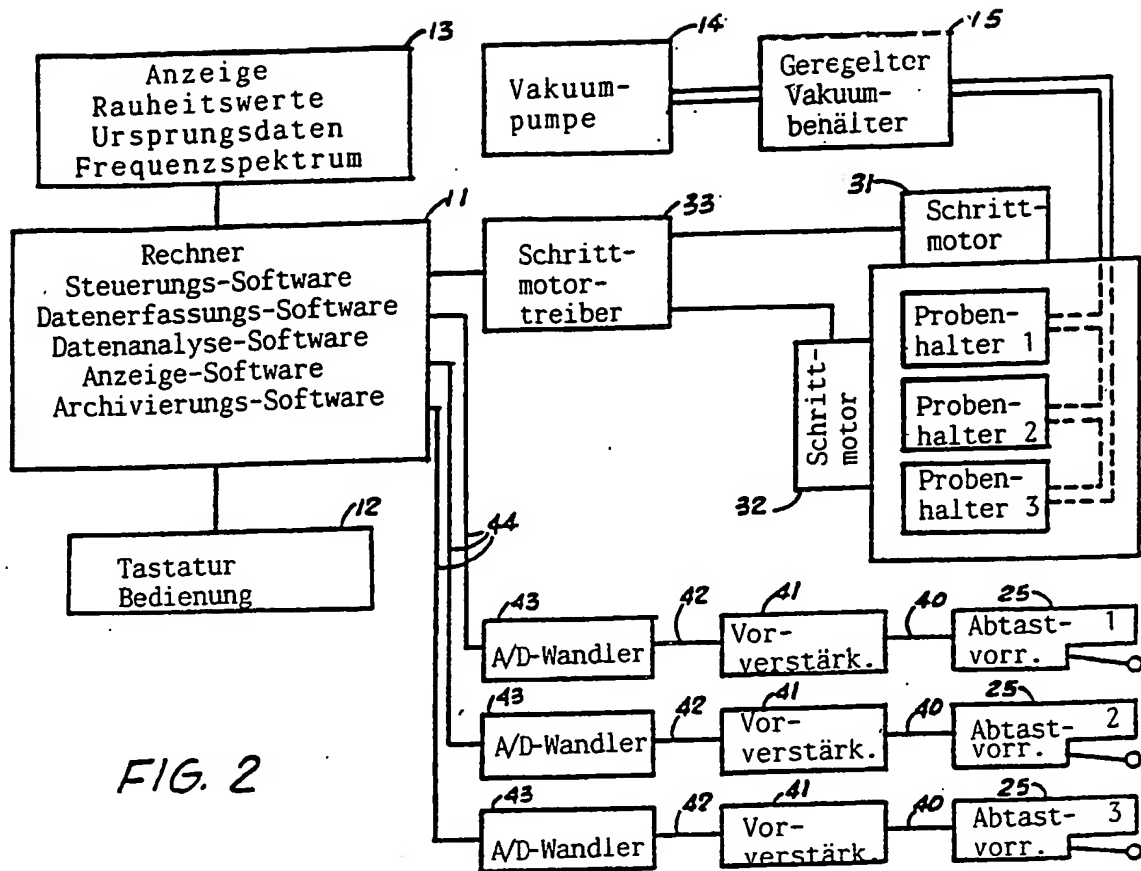
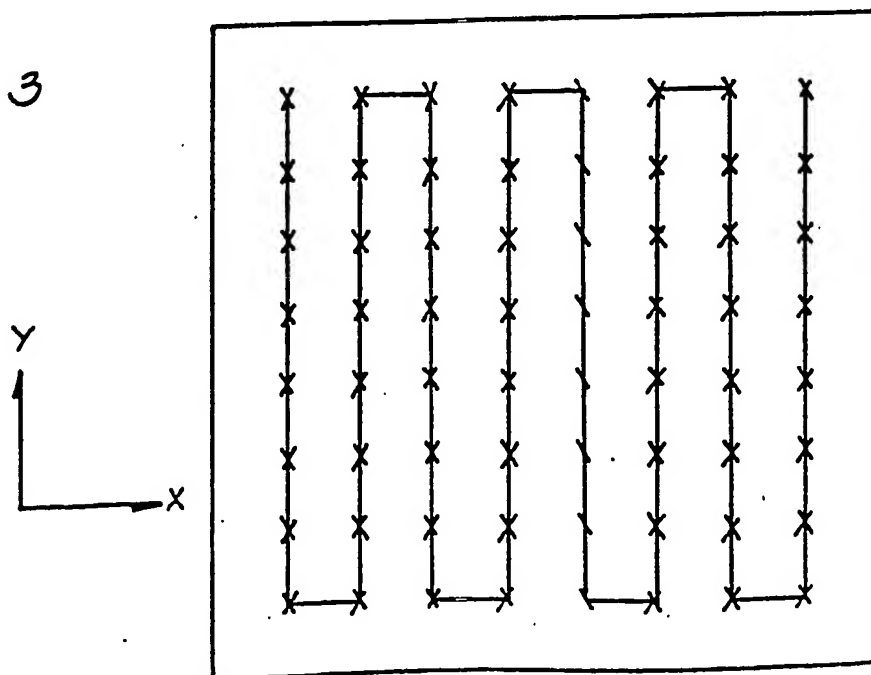


FIG. 2

FIG. 3



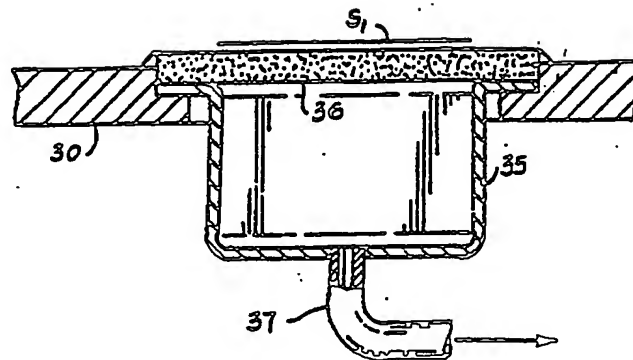


FIG. 4

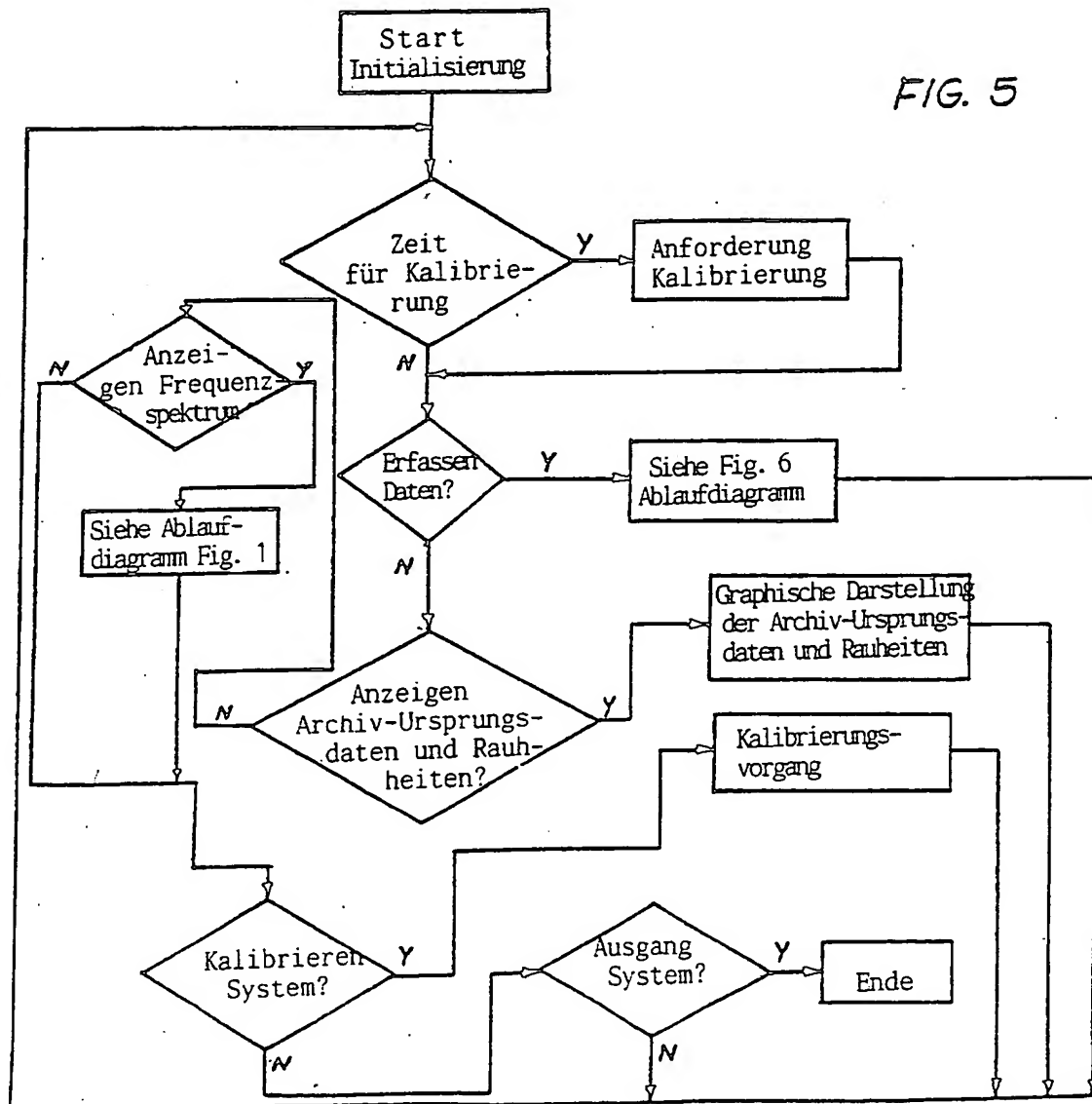
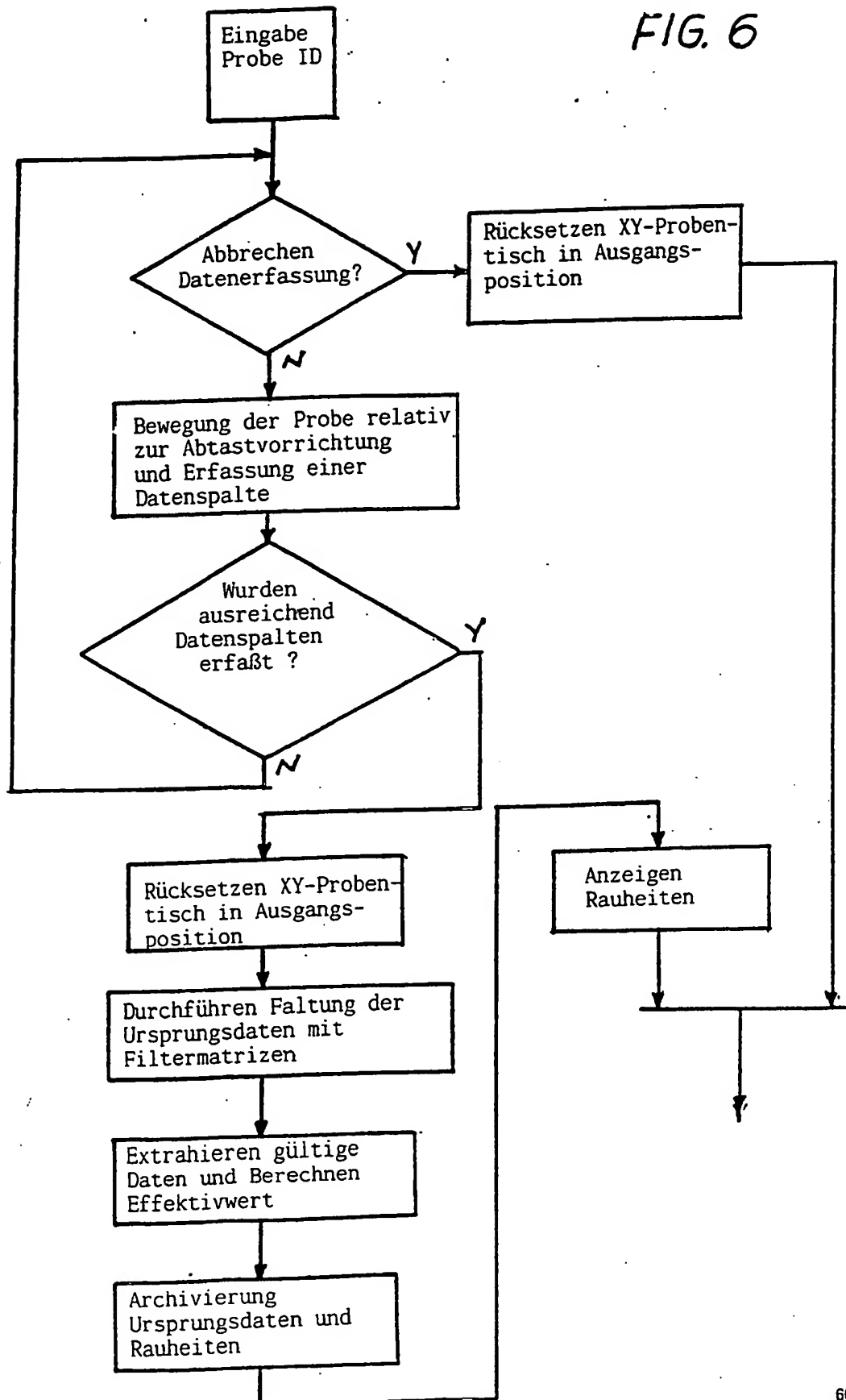


FIG. 5

FIG. 6



602 067/607

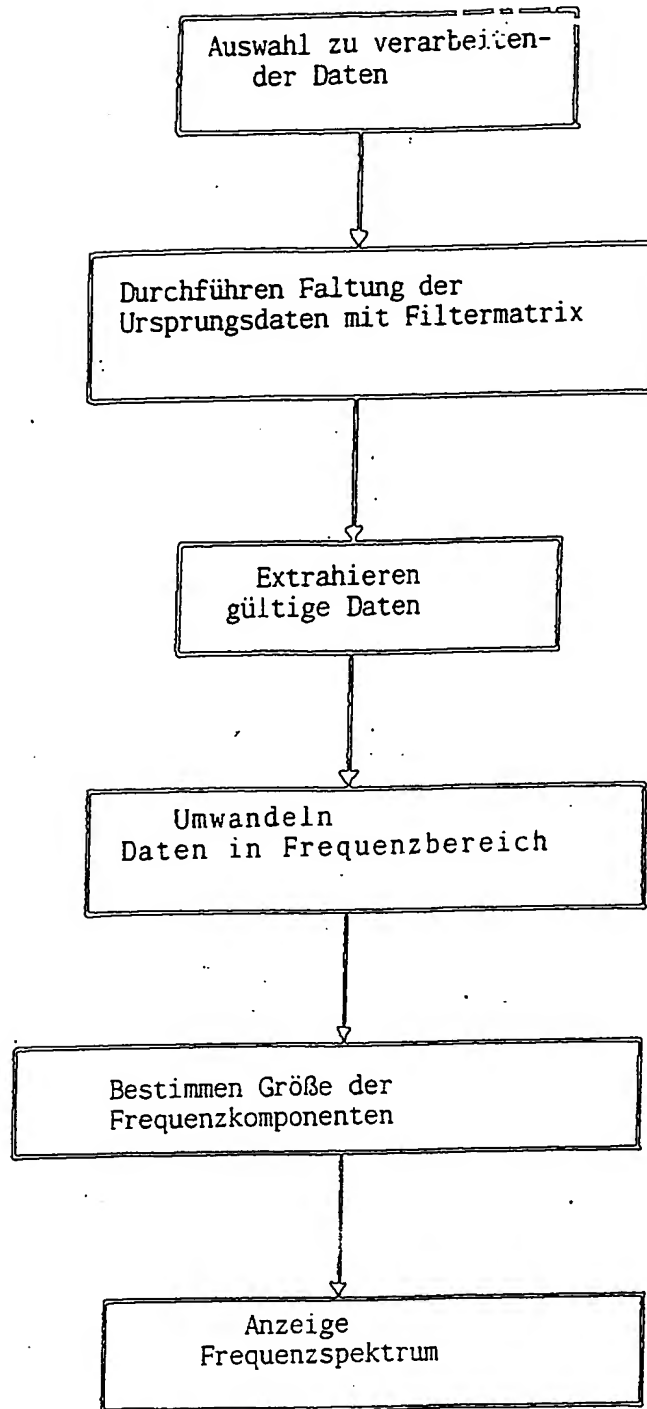


FIG. 7

602 067/607

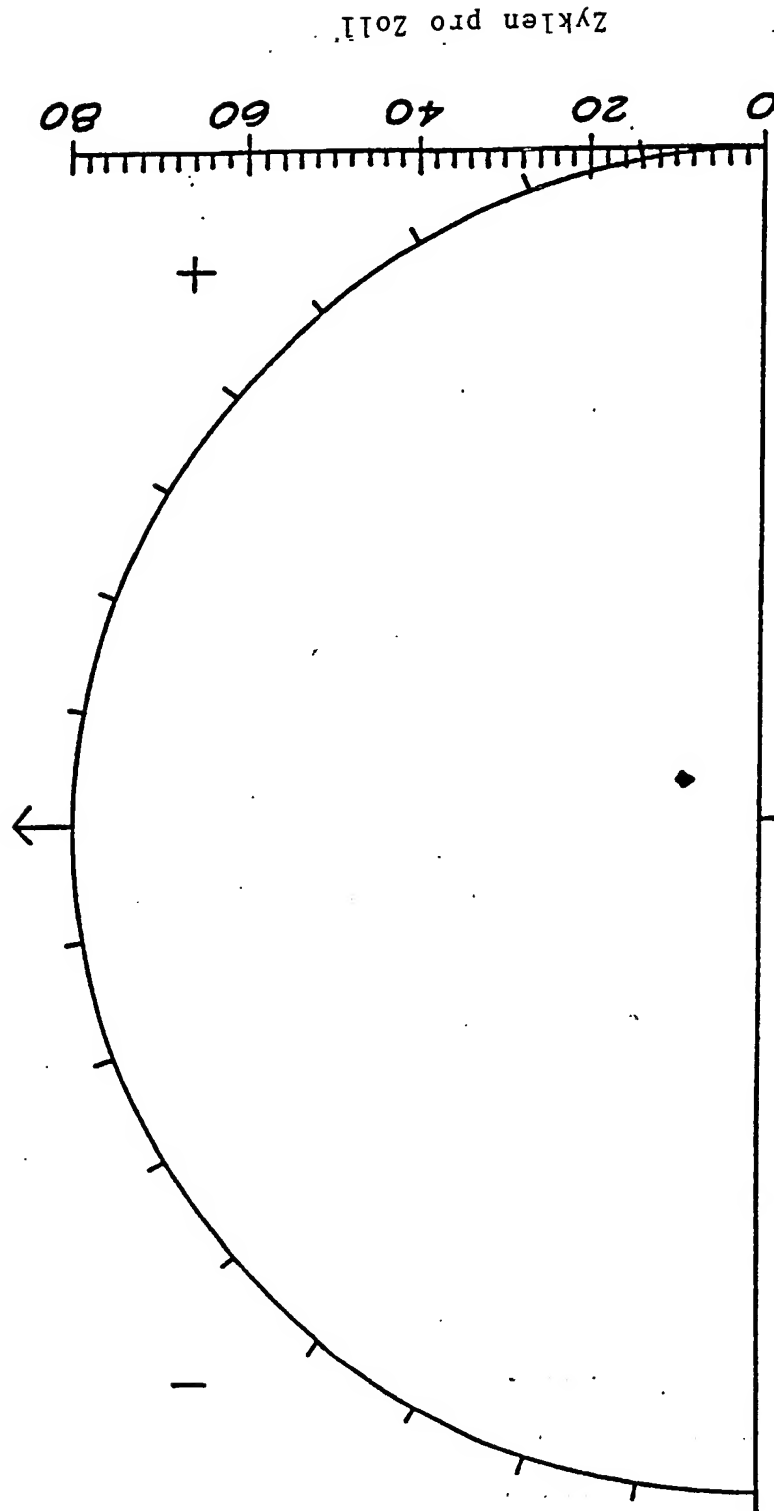
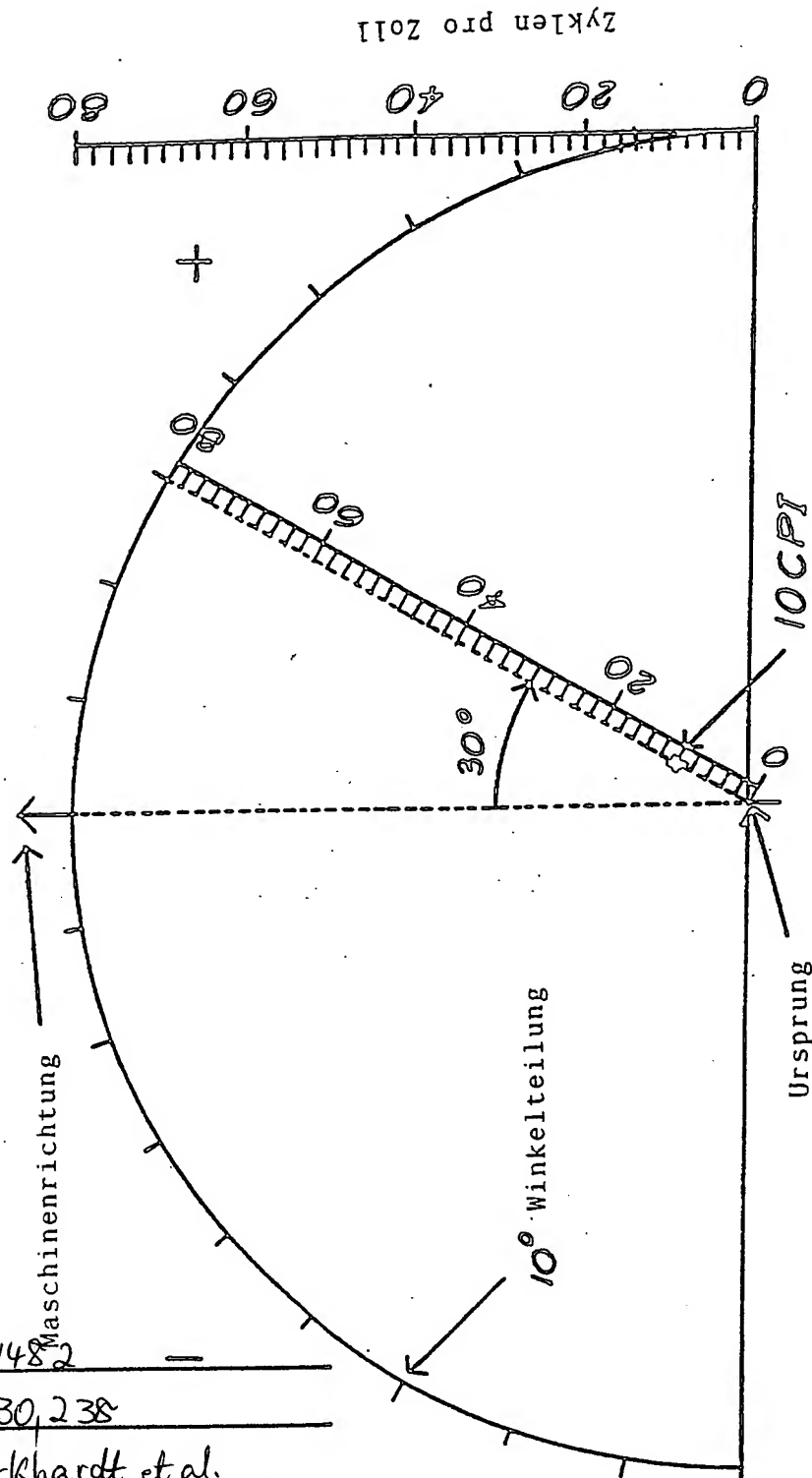


FIG. 8



DOCKET NO: E-41482
 SERIAL NO: 10/030,238
 APPLICANT: Burkhardt et al.
 LERNER AND GREENBERG P.A.
 P.O. BOX 2480
 HOLLYWOOD, FLORIDA 33022
 TEL. (954) 925-1100